

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-281316

(43)公開日 平成5年(1993)10月29日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 R 33/035	Z A A	8203-2G		
H 0 1 L 39/22	Z A A D	8728-4M		

審査請求 未請求 請求項の数9(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平4-79587

(22)出願日 平成4年(1992)4月1日

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72)発明者 藤本 学

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72)発明者 野島 秀雄

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(72)発明者 新宅 英隆

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

(74)代理人 弁理士 青山 葆 (外1名)

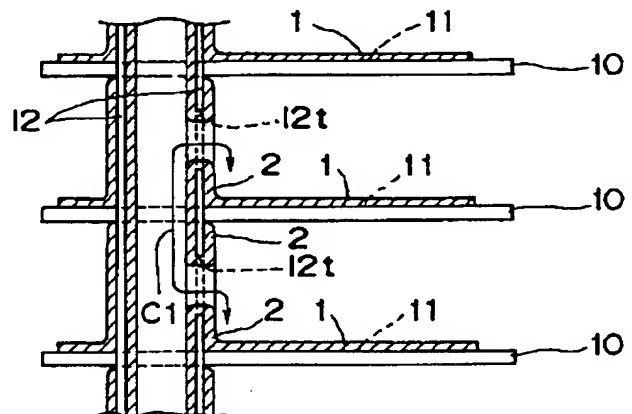
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 超電導磁気センサおよびその製造方法

(57)【要約】

【目的】 超電導磁気センサの磁気検出感度(最小磁束分解能)を高める。

【構成】 複数の基板10の片面にそれぞれミアンダパターン状の金属膜11を設ける。各基板10の金属膜11の端部に相当する箇所に金属製の円筒状部材12を貫通して各基板10を一体に連結する。電気泳動法により、金属膜11と円筒状部材12の表面にそれぞれ Y_1 , Ba_1 , Cu_1 , O_1 膜からなる第1の酸化物超電導膜1, 第2の酸化物超電導膜2を同時に被着する。続いて、酸素を含む雰囲気中で熱処理を行って、第1の酸化物超電導膜1, 第2の酸化物超電導膜2を焼結するとともに、各金属膜11および円筒状部材12の表面を絶縁膜に変化させる。これにより、各基板10の第1の酸化物超電導膜1, 1, …を第2の酸化物超電導膜2を介して電氣的に直列に接続する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに平行な複数の基板面にそれぞれ線状に設けられ、磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜と、

上記各基板面を貫通する円筒状部材と、

上記円筒状部材の表面を被覆し、上記各基板面に設けられた第 1 の酸化物超電導膜を電氣的に直列に接続する第 2 の酸化物超電導膜を備えたことを特徴とする超電導磁気センサ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の超電導磁気センサにおいて、

上記第 1 の酸化物超電導膜は、複数の基板の同一の向きの面にそれぞれ設けられ、

上記円筒状部材は周面を貫通する横穴を各基板の間に有し、この横穴の端面を上記第 2 の酸化物超電導膜が被覆していることを特徴とする超電導磁気センサ。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の超電導磁気センサにおいて、

上記第 1 の酸化物超電導膜は、2 枚の基板の互いに対向する面または互いに反対向きの面にそれぞれ設けられていることを特徴とする超電導磁気センサ。

【請求項 4】 請求項 1 に記載の超電導磁気センサにおいて、

上記第 1 の酸化物超電導膜は、1 枚の基板の両面にそれぞれ設けられていることを特徴とする超電導磁気センサ。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の超電導磁気センサにおいて、

上記第 1 の酸化物超電導膜は、複数の基板の両面にそれぞれ設けられ、

上記円筒状部材は 2 枚の基板の互いに対向する面を貫通する第 1 の円筒状部材と、1 枚の基板の両面を貫通する第 2 の円筒状部材とを含み、

上記第 2 の酸化物超電導膜は上記第 1 の円筒状部材および第 2 の円筒状部材の表面をそれぞれ被覆していることを特徴とする超電導磁気センサ。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の超電導磁気センサにおいて、

上記第 1 の円筒状部材は上記各基板を貫通して一本に連なっていることを特徴とする超電導磁気センサ。

【請求項 7】 複数の基板の片面にそれぞれ所定の線状パターンを金属膜を設ける工程と、

上記各基板の上記金属膜の端部に相当する箇所に金属製の円筒状部材を貫通して上記各基板を上記円筒状部材を介して一体に連結する工程と、

電気泳動法により、上記金属膜と円筒状部材の表面にそれぞれ磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を同時に被着し、続いて、酸素を含む雰囲気中で熱処理を行って、上記第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を焼結するとともに上記各金

属膜および円筒状部材の表面を絶縁膜に変化させる工程を有することを特徴とする超電導磁気センサの製造方法。

【請求項 8】 1 枚の基板の両面に対称に所定の線状パターンの金属膜を設ける工程と、

上記各基板の上記金属膜の端部に相当する箇所に金属製の円筒状部材を貫通して上記基板と円筒状部材とを一体にする工程と、

電気泳動法により、上記金属膜と円筒状部材の表面にそれぞれ磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を同時に被着し、続いて、酸素を含む雰囲気中で熱処理を行って、上記第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を焼結するとともに上記各金属膜および円筒状部材の表面を絶縁膜に変化させる工程を有することを特徴とする超電導磁気センサの製造方法。

【請求項 9】 複数の基板の両面に、所定の線状パターンの金属膜を各基板の両面で対称に設ける工程と、

上記各基板の上記金属膜の一方の端部に相当する箇所に 1 本の金属製の第 1 の円筒状部材を貫通して各基板を一体に連結するとともに、上記各基板の上記金属膜の他方の端部に相当する箇所に 1 枚の基板を貫通する金属製の第 2 の円筒状部材を貫通する工程と、

電気泳動法により、上記金属膜と円筒状部材の表面にそれぞれ磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を同時に被着し、続いて、酸素を含む雰囲気中で熱処理を行って、上記第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を焼結するとともに上記各金属膜および円筒状部材の表面を絶縁膜に変化させる工程と、

上記第 1 の円筒状部材の端面を被覆している第 2 の酸化物超電導膜を除去する工程を有することを特徴とする超電導磁気センサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は超電導磁気センサおよびその製造方法に関し、より詳しくは、結晶粒界を有し、磁気抵抗効果を示す酸化物超電導膜によって構成した超電導磁気センサおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 この種の超電導磁気センサとしては、本出願人が先に提案したように、酸化物超電導膜($Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$)を基板の片面にミアンダパターン状(つづら折りの線状パターン)に形成したものがあ(特願平 2 - 264682 号に基づく優先権主張出願(特願平 3 - 252509 号))。この超電導磁気センサは、SQUID(超電導量子干渉素子)に比して出力レベルが高く、簡単な構成の信号処理システムでもって磁気を測定することができる。その磁気検出感度(最小磁束分解能)は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ ガウス(正確には、gauss/(Hz)^{1/2})を単位とす

る。)であった。

【 0 0 0 3 】

【発明が解決しようとする課題】ところで、生体磁気、特に心臓からの磁気を検出することは磁気センサの極めて重要な用途であるが、生体磁気を検出しようとする場合、 10^{-7} ガウスの磁気検出感度が必要とされる。このため、上記超電導磁気センサの磁気検出感度を高めることが要求されている。

【 0 0 0 4 】そこで、この発明の目的は、高い磁気検出感度を得ることができる超電導磁気センサおよびその製造方法を提供することにある。

【 0 0 0 5 】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明の超電導磁気センサは、互いに平行な複数の基板面にそれぞれ線状に設けられ、磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜と、上記各基板面を貫通する円筒状部材と、上記円筒状部材の表面を被覆し、上記各基板面に設けられた第 1 の酸化物超電導膜を電気的に直列に接続する第 2 の酸化物超電導膜を備えたことを特徴としている。

【 0 0 0 6 】また、上記第 1 の酸化物超電導膜は、複数の基板の同一の向きの面にそれぞれ設けられ、上記円筒状部材は周面を貫通する横穴を各基板の間に有し、この横穴の端面を上記第 2 の酸化物超電導膜が被覆しているのが望ましい。

【 0 0 0 7 】また、上記第 1 の酸化物超電導膜は、2 枚の基板の互いに対向する面または互いに反対向きの面にそれぞれ設けられているのが望ましい。

【 0 0 0 8 】また、上記第 1 の酸化物超電導膜は、1 枚の基板の両面にそれぞれ設けられているのが望ましい。

【 0 0 0 9 】また、上記第 1 の酸化物超電導膜は、複数の基板の両面にそれぞれ設けられ、上記円筒状部材は 2 枚の基板の互いに対向する面を貫通する第 1 の円筒状部材と、1 枚の基板の両面を貫通する第 2 の円筒状部材とを含み、上記第 2 の酸化物超電導膜は上記第 1 の円筒状部材および第 2 の円筒状部材の表面をそれぞれ被覆しているのが望ましい。

【 0 0 1 0 】さらに、上記第 1 の円筒状部材は上記各基板を貫通して一本に連なっているのが望ましい。

【 0 0 1 1 】また、この発明の超電導磁気センサの製造方法は、複数の基板の片面にそれぞれ所定の線状パターンの金属膜を設ける工程と、上記各基板の上記金属膜の端部に相当する箇所を上記円筒状部材を貫通して上記各基板を金属製の円筒状部材を介して一体に連結する工程と、電気泳動法により、上記金属膜と円筒状部材の表面にそれぞれ磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を同時に被着し、続いて、酸素を含む雰囲気中で熱処理を行って、上記第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を焼結するとともに上記各金属膜および円筒状部材の表面を絶縁膜に変化させる工

程を有することを特徴としている。

【 0 0 1 2 】また、この発明の超電導磁気センサの製造方法は、1 枚の基板の両面に対称に所定の線状パターンの金属膜を設ける工程と、上記各基板の上記金属膜の端部に相当する箇所に金属製の円筒状部材を貫通して上記基板と円筒状部材とを一体にする工程と、電気泳動法により、上記金属膜と円筒状部材の表面にそれぞれ磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を同時に被着し、続いて、酸素を含む雰囲気中で熱処理を行って、上記第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を焼結するとともに上記各金属膜および円筒状部材の表面を絶縁膜に変化させる工程を有することを特徴としている。

【 0 0 1 3 】また、この発明の超電導磁気センサの製造方法は、複数の基板の両面に、所定の線状パターンの金属膜を各基板の両面で対称に設ける工程と、上記各基板の上記金属膜の一方の端部に相当する箇所に 1 本の金属製の第 1 の円筒状部材を貫通して各基板を一体に連結するとともに、上記各基板の上記金属膜の他方の端部に相当する箇所に 1 枚の基板を貫通する金属製の第 2 の円筒状部材を貫通する工程と、電気泳動法により、上記金属膜と円筒状部材の表面にそれぞれ磁気抵抗効果を示す第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を同時に被着し、続いて、酸素を含む雰囲気中で熱処理を行って、上記第 1 の酸化物超電導膜、第 2 の酸化物超電導膜を焼結するとともに上記各金属膜および円筒状部材の表面を絶縁膜に変化させる工程と、上記第 1 の円筒状部材の端面を被覆している第 2 の酸化物超電導膜を除去する工程を有することを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

【作用】この発明の超電導磁気センサでは、互いに平行な基板面に設けられた第 1 の酸化物超電導膜が第 2 の酸化物超電導膜を介して直列に接続されている。したがって、磁界に対する発生抵抗が大きくなって、S/N 比(信号ノイズ比)が大きくなり、磁気検出感度が高まる。なお、第 1 の酸化物超電導膜は基板面に垂直な方向に積層された状態となり、基板面に沿った向きには広がらないので、空間的分解能は殆んど低下しない。

【 0 0 1 5 】また、上記第 1 の酸化物超電導膜が複数の基板の同一の向きの面にそれぞれ設けられ、上記円筒状部材が周面を貫通する横穴を各基板の間に有し、この横穴の端面を上記第 2 の酸化物超電導膜が被覆している場合、図 1 に例示するように、第 1 の酸化物超電導膜 1, 1, … を電気的に直列に接続する接続経路 C 1 が生ずる。すなわち、円筒状部材 1 2 の基板 1 0, 1 0 の間の外周面と、横穴 1 2 の端面と、円筒状部材 1 2 の内周面と、隣の横穴 1 2 の端面と、隣の基板 1 0, 1 0 の間の外周面とが上記第 2 の酸化物超電導膜 2 による接続経路 C 1 となる。したがって、第 1 の酸化物超電導膜 1, 1 … が簡単に直列接続される。

【0016】また、上記第1の酸化物超電導膜が2枚の基板の互いに対向する面にそれぞれ設けられている場合は、図2に例示するように、第1の酸化物超電導膜101, 151を電氣的に直列に接続する接続経路C2が生ずる。すなわち、円筒状部材112の外周面のうち2枚の基板110, 110の間の部分が第2の酸化物超電導膜102による接続経路C2となる。したがって、第1の酸化物超電導膜101, 151が簡単に接続される。また、上記第1の酸化物超電導膜101, 101が2枚の基板110, 110の互いに反対向きの面にそれぞれ設けられている場合は、図3に例示するように、それぞれ円筒状部材112の外周面のうち基板110, 110の外側の部分、円筒状部材112の端面および内周面が第2の酸化物超電導膜102による接続経路C3となる。したがって、第1の酸化物超電導膜101, 151が簡単に直列接続される。

【0017】また、上記第1の酸化物超電導膜が1枚の基板の両面にそれぞれ設けられている場合、図4に例示するように、第1の酸化物超電導膜201, 251を電氣的に直列に接続する接続経路C4が生ずる。すなわち、円筒状部材212の外周面のうち基板210の外側の部分と、円筒状部材212の端面と、内周面とが第2の酸化物超電導膜202による接続経路C4となる。したがって、第1の酸化物超電導膜201, 251が簡単に直列接続される。

【0018】また、上記第1の酸化物超電導膜は、複数の基板の両面にそれぞれ設けられ、上記円筒状部材は2枚の基板の互いに対向する面を貫通する第1の円筒状部材と、1枚の基板の両面を貫通する第2の円筒状部材とを含み、上記第2の酸化物超電導膜は上記第1の円筒状部材および第2の円筒状部材の表面をそれぞれ被覆している場合、図5に例示するように、第1の酸化物超電導膜301, 351, 301, 351, ...を電氣的に直列に接続する接続経路C5が生ずる。すなわち、第1の円筒状部材312を被覆する第2の酸化物超電導膜302は2枚の基板310, 310の互いに対向する面に設けられた第1の酸化物超電導膜351, 301を電氣的に直列に接続する一方、第2の円筒状部材392を被覆する第2の酸化物超電導膜382は1枚の基板310の両面に設けられた第1の酸化物超電導膜311, 351を電氣的に直列に接続する。したがって、複数の基板310, 310, ...の両面に設けられた第1の酸化物超電導膜311, 351, ...がすべて直列に接続され、この結果、磁気検出感度が顕著に高まる。なお、この場合、第1の円筒状部材の内周面を通る経路は用いない(遮断する)。

【0019】また、上記第1の円筒状部材が上記各基板を貫通して一本に連なっている場合、各基板を一度に連結できるので作製工程が簡単になる。しかも、連結後の機械的強度が高まる。

【0020】

【実施例】以下、この発明の超電導磁気センサおよびその製造方法を実施例により詳細に説明する。

【0021】図6(a)は第1実施例の超電導磁気センサを斜め上方から見たところ、同図(b)は真横から見たところをそれぞれ示している。この超電導磁気センサは、互いに平行に配された4枚のYSZ(イットリウム安定化ジルコニウム)基板10と、これらの基板10を2枚ずつ貫通して一体に連結する3本の円筒状部材12を備えている。各基板10の同一の向きの面(片面)にそれぞれミアンダパターン(つづら折り)状の第1の酸化物超電導膜(Y, Ba, Cu, O, ...膜)1が設けられている。各第1の酸化物超電導膜1の端部1a, 1bは所定寸法の矩形状になっており、上記円筒状部材12は各2枚の基板毎に第1の酸化物超電導膜1の端部1a, 1bに相当する箇所を交互に貫通している。円筒状部材12には周面を貫通する横穴121が基板10の間に設けられている。円筒状部材12の表面、すなわち外周面、端面、内周面および上記横穴121の端面は、第2の酸化物超電導膜(Y, Ba, Cu, O, ...膜)2によって被覆されている。したがって、図1によって説明したように、各基板面の第1の酸化物超電導膜1は第2の酸化物超電導膜2によって電氣的に直列に接続されている。

【0022】この超電導磁気センサは次のようにして作製する。

①まず、各YSZ基板10の片面に、銅の膜を真空蒸着し、フォトリソグラフィを行って、線幅500 μ m、線長251mmのミアンダパターン状の銅電極(第1の酸化物超電導膜が被着されるべき電極)11と、この銅電極11に基板面内で離間して並ぶ線幅100 μ mの対向電極(図10に示す)31とを形成する。なお、銅電極11、対向電極31の端部11a, 11b, 31aを矩形状に形成する。

②次に、図1に示すように、各2枚の基板毎に銅電極11の端部11a, 11bに相当する箇所に円筒状部材12を交互に貫通して、各基板10を円筒状部材12を介して一体に連結する。

③次に、電気泳動法により、上記銅電極11と円筒状部材12の表面にそれぞれ第1の酸化物超電導膜1、第2の酸化物超電導膜2を4枚の基板について同時に被着する。なお、このとき、図10に示すように、銅電極11を負電位、対向電極31を正電位とする。続いて、酸素を含む雰囲気中で900 $^{\circ}$ C、3時間の熱処理を行って、上記第1の酸化物超電導膜1、第2の酸化物超電導膜2を焼結するとともに各銅電極11および円筒状部材12の表面を絶縁膜に変化させる。

④最後に、図6に示すように、両端の基板10の第1の酸化物超電導膜の端部1a, 1bに電流端子3i、電圧端子3vを取り付ける。

【0023】この超電導磁気センサでは、複数(4枚)の基板の第1の酸化物超電導膜1が電氣的に直列に接続さ

れているので、磁界に対する発生抵抗が大きくなって、SN比(信号/ノイズ比)が大きくなる。したがって、従来に比して、磁気検出感度を高めることができる。なお、第1の酸化物超電導膜1は基板面に垂直な方向に積層された状態となり、基板面に沿った向きには広がらないので、空間的分解能は殆んど低下しない。

【0024】実際に測定を行ったところ、上記超電導磁気センサは、磁電変換率が 500mV/gauss 、ノイズレベルが $164\text{nV}/(\text{Hz})^{1/2}$ であり、磁気検出感度(最小磁束分解能)が $3.3 \times 10^{-7}\text{gauss}/(\text{Hz})^{1/2}$ となった。これに対して、従来のもの(1枚の基板の片面だけに $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜を設けたもの)は、磁電変換率が 125mV/gauss 、ノイズレベルが $82.0\text{nV}/(\text{Hz})^{1/2}$ であり、磁気検出感度が $6.6 \times 10^{-7}\text{gauss}/(\text{Hz})^{1/2}$ であった。したがって、磁気検出感度を約0.50倍に高めることができた。

【0025】図7は第2実施例の超電導磁気センサを示している。この例では、同図(b)に示すように、YSZ基板110,150の互いに対向する面にミアンドパターン状の第1の酸化物超電導膜($\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜)101,151が鏡面对称に設けられている。これらの基板110,150を一体に連結する円筒状部材112の表面は第2の酸化物超電導膜($\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜)102によって被覆されている。したがって、図2によって説明したように、上記第1の酸化物超電導膜101,151は第2の酸化物超電導膜102によって電気的に直列に接続されている。

【0026】この超電導磁気センサは次のようにして作製する。

①まず、同図(a)に示すように、YSZ基板110,150の片面に、第1実施例と同様に、銅電極111,161を形成する。なお、それぞれ対向電極(端部131a,181aのみ示す)も同時に形成する。

②次に、上記基板110,150を平行に対向させて、銅電極111,161の端部111a,161aに相当する箇所を円筒状部材112を貫通して、基板110,150を一体に連結する。

③次に、同図(b)に示すように、電気泳動法により、上記銅電極111,161と円筒状部材112の表面にそれぞれ第1の酸化物超電導膜101,151,第2の酸化物超電導膜102を同時に被着する。続いて、酸素を含む雰囲気中で 900°C 、3時間の熱処理を行って、上記第1の酸化物超電導膜101,151,第2の酸化物超電導膜102を焼結するとともに各銅電極111,161および円筒状部材112の表面を絶縁膜に変化させる。

④最後に、第1の酸化物超電導膜101,151の端部101b,151bに電流端子103i,電圧端子103vをそれぞれ取り付ける。

【0027】この超電導磁気センサも、第1実施例と同様に、従来(基板が1枚のもの)に比して磁気検出感度を

高めることができる。実際に測定を行ったところ、磁電変換率が 250mV/gauss 、ノイズレベルが $116\text{nV}/(\text{Hz})^{1/2}$ であり、磁気検出感度(最小磁束分解能)を従来の0.71倍に高めることができた。

【0028】なお、この例では、YSZ基板110,150の互いに対向する面に第1の酸化物超電導膜($\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜)101,151を設けたが、YSZ基板110,150の互いに反対向きの面に第1の酸化物超電導膜を設けても良い。この場合も、図3によって説明したように、各第1の酸化物超電導膜を直列に接続でき、したがって、同様の磁気検出感度を得ることができる。

【0029】図8は第3実施例の超電導磁気センサを示している(同図(a)は斜め上方から見たところ、同図(b),(c)は基板の両面をそれぞれ示している)。この例では、YSZ基板210の両面にミアンドパターン状の第1の酸化物超電導膜($\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜)201,251が対称に設けられている。この基板210を貫通する円筒状部材212の表面は第2の酸化物超電導膜($\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 膜)202によって被覆されている。したがって、図4によって説明したように、両面の第1の酸化物超電導膜201,251は第2の酸化物超電導膜202によって電気的に直列に接続されている。

【0030】この超電導磁気センサは次のようにして作製する。

①まず、YSZ基板210の両面にミアンドパターン状の銅電極211,261を形成する。なお、それぞれ対向電極(端部231a,281aのみ示す)も同時に形成する。

②次に、上記基板210の銅電極211,261の端部211a,261aに相当する箇所を円筒状部材212を貫通する。

③次に、電気泳動法により、上記銅電極211,261と円筒状部材212の表面にそれぞれ第1の酸化物超電導膜201,251,第2の酸化物超電導膜202を同時に被着する。このとき、図11に示すように、銅電極211を負電位、対向電極231を正電位とする。続いて、酸素を含む雰囲気中で 900°C 、3時間の熱処理を行って、上記第1の酸化物超電導膜201,251,第2の酸化物超電導膜202を焼結するとともに各銅電極211,261および円筒状部材212の表面を絶縁膜に変化させる。

④最後に、図8(a)に示すように、第1の酸化物超電導膜201,251の端部201b,251bに電流端子203i,電圧端子203vをそれぞれ取り付ける。

【0031】この超電導磁気センサも、上記各実施例と同様に、従来(基板が1枚のもの)に比して磁気検出感度を高めることができる。実際に測定を行ったところ、磁電変換率が 250mV/gauss 、ノイズレベルが $116\text{nV}/(\text{Hz})^{1/2}$ であり、第2実施例と同様に、磁気検出感

度(最小磁束分解能)を従来の0.71倍に高めることができた。

【0032】図9は第4実施例の超電導磁気センサを示している(同図(a)は斜め上方から見たところ、同図(b)は真横から見たところをそれぞれ示している。)。この超電導磁気センサは、互いに平行に配された4枚のYSZ基板310と、これら4枚の基板310を貫通して一体に連結する1本の第1の円筒状部材312と、各1枚の基板を貫通する4本の第2の円筒状部材392を備えている。各基板310の両面にそれぞれミアンダパターン状の第1の酸化物超電導膜($Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ 膜)301、351が対称に設けられている。同図(a)に示すように、各第1の酸化物超電導膜301の端部301a、301bはそれぞれ所定寸法の矩形状になっている(裏側の第1の酸化物超電導膜351の端部351a、351bも矩形状になっている)。上記第1の円筒状部材312は第1の酸化物超電導膜301の一方の端部301aに相当する箇所を貫通する一方、上記第2の円筒状部材392は第1の酸化物超電導膜301の他方の端部301bに相当する箇所を貫通している。また、第1の円筒状部材312と第2の円筒状部材392の表面は、いずれも第2の酸化物超電導膜($Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ 膜)302、382によって被覆されている。したがって、図5によって説明したように、各基板310の両面の第1の酸化物超電導膜301、351は第2の酸化物超電導膜302、382によって電氣的に直列に接続されている。

【0033】この超電導磁気センサは次のようにして作製する。

①まず、各YSZ基板310の両面にミアンダパターン状の銅電極311、361を形成する。なお、それぞれ対向電極(端部331aのみ示す)も同時に形成する。

②次に、上記各基板310の銅電極311(および361)の一方の端部311aに相当する箇所に1本の第1の円筒状部材312を貫通するとともに、銅電極311の他方の端部311bに相当する箇所に4本の第2の円筒状部材392を貫通する。

③次に、電気泳動法により、上記銅電極311、361と第1の円筒状部材312、第2の円筒状部材392の表面に、それぞれ第1の酸化物超電導膜301、351、第2の酸化物超電導膜302、382を同時に被着する。続いて、酸素を含む雰囲気中で900℃、3時間の熱処理を行って、上記第1の酸化物超電導膜301、351、第2の酸化物超電導膜302、382を焼結するとともに各銅電極311、361および第1の円筒状部材312、第2の円筒状部材392の表面を絶縁膜に変化させる。

④次に、上記第1の円筒状部材312の両端をリング状に切断する。これにより、第1の円筒状部材の内周面を上下方向に通る接続経路を遮断する。

⑤最後に、同図(a)に示すように、上端の基板310の

第1の酸化物超電導膜301の端部301aと下端の基板310の第1の酸化物超電導膜351の端部351aとに、電流端子203i、電圧端子203vをそれぞれ取り付ける。

【0034】この超電導磁気センサも、上記各実施例と同様に、従来(基板が1枚のもの)に比して磁気検出感度を高めることができる。実際に測定を行ったところ、磁電変換率が1000mV/gauss、ノイズレベルが232nV/(Hz)^{1/2}であり、磁気検出感度(最小磁束分解能)を従来の0.35倍に高めることができた。

【0035】

【発明の効果】以上より明らかなように、この発明の超電導磁気センサは、互いに平行な基板面に存する第1の酸化物超電導膜を、円筒状部材の表面を被覆する第2の酸化物超電導膜で直列に接続しているため、磁界に対する発生抵抗を大きくすることができる。したがって、磁気検出感度を高めることができる。

【0036】また、この発明の超電導磁気センサの製造方法によれば、高い磁気検出感度を有する超電導磁気センサを簡単な工程でもって作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の超電導磁気センサを構成する第1の酸化物超電導膜の接続経路を説明する図である。

【図2】 この発明の超電導磁気センサを構成する第1の酸化物超電導膜の接続経路を説明する図である。

【図3】 この発明の超電導磁気センサを構成する第1の酸化物超電導膜の接続経路を説明する図である。

【図4】 この発明の超電導磁気センサを構成する第1の酸化物超電導膜の接続経路を説明する図である。

【図5】 この発明の超電導磁気センサを構成する第1の酸化物超電導膜の接続経路を説明する図である。

【図6】 この発明の第1実施例の超電導磁気センサを示す図である。

【図7】 この発明の第2実施例の超電導磁気センサを示す図である。

【図8】 この発明の第3実施例の超電導磁気センサを示す図である。

【図9】 この発明の第4実施例の超電導磁気センサを示す図である。

【図10】 電気泳動法により酸化物超電導膜を被着する工程を説明する図である。

【図11】 電気泳動法により酸化物超電導膜を被着する工程を説明する図である。

【符号の説明】

1, 101, 151, 201, 251, 301, 351 第1の酸化物超電導膜

2, 102, 202, 302, 382 第2の酸化物超電導膜

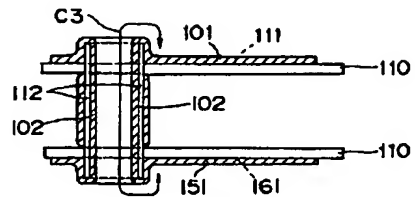
10, 110, 210, 310 YSZ基板

11, 111, 161, 211, 261, 311, 361 銅

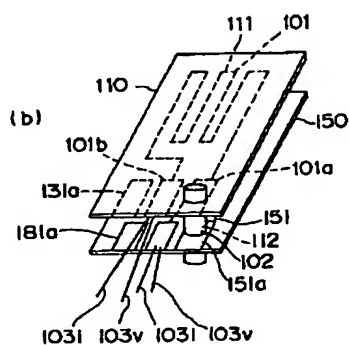
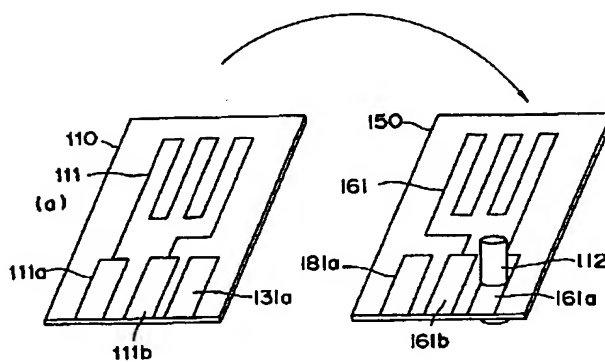
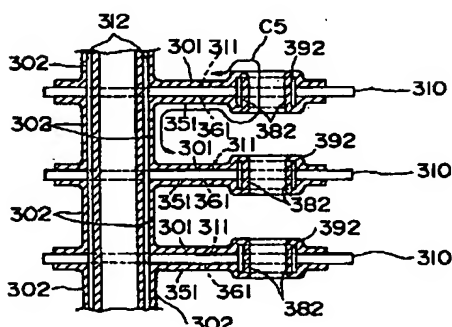
3 1 2 第1の円筒状部材

392 第2の円筒状部材

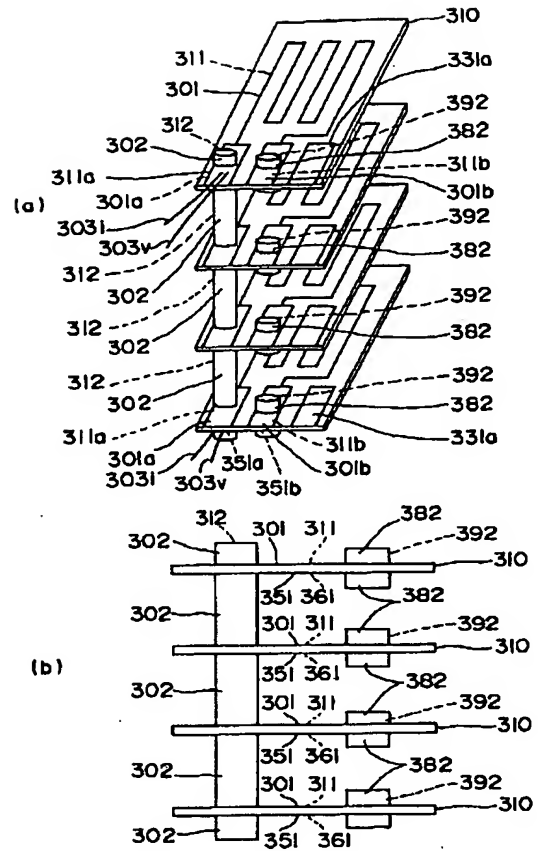
【図 3】



【图 10】



【図 9】



(72)発明者 木場 正義
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内